Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 71-85

The Role of Melatonin on Postharvest Properties of Sweet Cherry Fruit cv. Siah Mashhad during Storage

B. Ghorbani[1]*, **R. Najafzadeh**[2]

Received: 05-01-2021 Revised: 15-08-2021 Accepted: 24-11-2021 Available Online: 20-06-2022	**How to cite this article:** Ghorbani B., and Najafzadeh R. 2022. The Role of Melatonin on Postharvest Properties of Sweet Cherry Fruit cv. Siah Mashhad during Storage. Journal of Horticultural Science 36(1): 71-85. (In Persian with English abstract) **DOI:** 10.22067/JHS.2021.67437.1001

Introduction

Cherry fruit has a high nutritional value and because of its favorable taste, its attractive appearance is of great importance. Iran is the origin of many horticultural products, especially cherries. The quality and quantity of the Iranian cherry crop are much more suitable in comparison with other producing countries due to suitable climatic conditions and significant areas under cultivation. This fruit has a very short shelf life due to its susceptibility to transport damage. After harvest, the cherry fruit decays quickly and in some cases, due to the time of transfer and marketing, does not reach consumers with good quality. Therefore, the use of natural compounds to increase shelf life and maintain its quality seems necessary inlcuding lower moisture, and perishability. On the other hand, storage of products involves a series of biochemical changes that take place, which is accompanied by softening of the fruit, destruction of the cell wall, and reduction of the external and internal quality of the products. Therefore, the use of appropriate compounds to increase durability and maintain its quality seems necessary. Phytohormonal treatments such as melatonin increase the cold resistance of fruits during storage and reduce the development of mechanical damage in the refrigerator during fruit storage. Melatonins have an amphiphilic indole ring structure, through which they can easily move out of the cell and play a role in the structure of the cell wall or membrane. Besides, melatonin is structurally similar to auxin and has similar effects, helping to maintain cell wall structure under stress and reducing the denaturation of cell wall proteins. Melatonin is also known as a biostimulant. These biostimulants in plants affect the production of secondary metabolites, biosynthesis of various phytohormones, facilitate plant uptake of nutrients, stimulate growth, and increase product quality and quantity. Melatonin, in interaction with other signaling agents, increases fruit metabolism and induces stress resistance.

Materials and Methods

In the present study, cherry fruits were harvested from the commercial garden at full maturity and after washing with distilled water with zero melatonin (control), 50, 100, 200 micromolar were treated by immersion for 5 minutes and Store at 1.5 with a relative humidity of 85% for 35 days. Parameters such as weight loss, titratable acidity, organic acids, soluble solids, antioxidants (DPPH), phenolic compounds, anthocyanin content, peroxidase, and ascorbate peroxidase activity were examined per week.

Results and Discussion

The results indicated that fruits treated with 200 μM melatonin showed less weight loss than other treatments and controls, and melatonin prevented fruit water loss, as well as of phenolic compounds, titratable acidity, soluble solids. The activity of peroxidase and ascorbate peroxidase enzymes have all increased. These compounds preserve the fruits during storage and increase the oxidation resistance. Melatonin coating on cherry fruit and can protect cells from stress by raising antioxidant levels. Consumption of edible coatings on horticultural products such as fruits increases durability and marketability. Edible coatings reduce fruit rot and prevent microbial growth on their surface. These coatings have a positive effect on physical properties and

1- Ph.D. in Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University
(*- Corresponding Author Email: ghorbani.bahareh@ymail.com)
2- Assistant Professor of Medicinal Plants, Shahid Bakeri Miandoab Higher Education Center, Urmia University

reduce physiological activity. Oral coatings better preserve organic acids by changing the internal atmosphere and slowing down the respiration of the fruit.

Conclusion

The use of exogenous compounds or growth regulators has in many cases been effective in reducing the effects of environmental stresses. These results show that the combination of melatonin has high antioxidant properties and can act as a protective compound and inhibit free radicals. Besides, it acts as a signaling molecule at the cellular level and manages antioxidant activity, thus preventing membrane damage and lipid peroxidation of the membrane. Melatonin also increases plant tolerance to environmental stresses and follows this mechanism by regulating gene expression in various horticultural crops. The use of melatonin improves the process of coping with oxidative stress by further regulating the biosynthesis of anthocyanins and the antioxidant-encoding gene.

Decomposition of cell wall compounds may increase total soluble solids, melatonin reduces the process of wall destruction, and preserves the appearance of the fruit. Increasing the amount of soluble solids increases the total antioxidant, phenolic and increases the activity of antioxidant enzymes. Melatonin is also at the forefront of stress management, and other antioxidants act as support after melatonin. Melatonin can prevent further stress damage by activating the plant signaling pathway.

Keywords: Antioxidant, Anthocyanins, Marketability, Oral coating, Phenol

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۸۵-۷۱

نقش ملاتونین بر خصوصیات پس از برداشت میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی دوره انبارمانی

بهاره قربانی[1]*- رقیه نجف زاده[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

چکیده

میوه گیلاس دارای ارزش غذایی بالایی بوده و به دلیل طعم و مزه مطلوب، و ظاهر جذاب از اهمیت بالایی برخوردار است. این میوه به دلیل حساس بودن به صدمات حمل و نقل، کاهش رطوبت و فساد پذیر بودن عمر انبارمانی بسیار کوتاهی دارد. میوه گیلاس پس از برداشت، به‌سرعت دچار زوال شده و در برخی موارد به‌دلیل مدت زمان انتقال و بازاریابی، با کیفیت مناسب به‌دست مصرف‌کنندگان نمی‌رسد. بنابراین استفاده از ترکیبات طبیعی جهت افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت آن ضروری به نظر می‌رسد. در پژوهش حاضر تیمار غوطه وری ملاتونین به مدت ۱۵ دقیقه در چهار سطح صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بر روی میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' اعمال شد و میوه‌ها در سردخانه در دمای ۱±۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد به مدت ۳۵ روز نگهداری شدند. پارامترهایی مانند کاهش‌وزن، اسیدیته قابل تیتراسیون، اسیدهای آلی، مواد جامد محلول، آنتی‌اکسیدان (DPPH)، ترکیبات فنلی، محتوای آنتوسیانین، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به مدت پنج هفته بررسی شدند. نتایج نشان داد میوه‌های تیمار شده با ملاتونین در غلظت۲۰۰ میکرومولار نسبت به سایر تیمارها و شاهد، میزان (۴۰ درصد) کاهش وزن کمتری داشتند و همچنین در این میوه‌ها میزان ترکیبات فنلی (۲۵ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر اسید گالیک)، مواد جامد محلول (۴ درصد بریکس) و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز (۲۰ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) افزایش یافتند. ترکیب ملاتونین خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالایی داشته و قادر است مانند یک ترکیب محافظت کننده عمل کرده و رادیکال‌های آزاد را مهار نماید. در این پژوهش دیده شد غلظت۲۰۰ میکرومولار توانسته است عمر انبارداری میوه گیلاس را با حفظ خواص آنتی‌اکسیدانی بالا برده و کیفیت را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، آنتوسیانین، بازارپسندی، پوشش خوراکی، فنل

مقدمه

گیلاس (*Prunus avium* L.) یکی از محصولات مهم و تجاری باغبانی در سطح دنیا می‌باشد. میوه گیلاس یک منبع عالی برای عناصر معدنی، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد آلی بوده و یکی از بهترین میوه‌های خوراکی برای سبد غذایی می‌باشد. اخیراً تحقیقات نشان داده که گنجاندن گیلاس در برنامه غذایی می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های دیابت، قلبی عروقی، فشار خون بالا و سرطان را کاهش دهد (Petriccione *et al*., 2014). گیلاس از جمله میوه‌هایی است که در اوایل فصل تابستان برداشت شده و از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار است. از جمله شاخص‌های بازارپسند این میوه رنگ پوست آن است که در اثر تجمع آنتوسیانین و افزایش نسبت TA/TSS در موقع رسیدن تشکیل می‌شود (Martinez-Romero *et al*., 2005). از دلایل اصلی کاهش بازارپسندی میوه گیلاس در طی انبارداری می‌توان به کاهش وزن، تغییرات رنگ و نرمی گوشت میوه، فرورفتگی سطحی، قهوه‌ای شدن و کاهش اسیدیته میوه اشاره نمود (Bernalte *et al*., 2003). امروزه به‌دلیل مطالعات گسترده پیرامون مدیریت محصولات باغبانی تمایل به استفاده از روش‌هایی که بتوانند عمر انبارمانی، کیفیت و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی را حفظ کنند قابل توجه است. یکی از راهکارهایی که به افزایش ماندگاری محصول کمک می‌کند استفاده از تنظیم کننده‌های رشد و پوشش‌های خوراکی

۱- دانش آموخته دکتری باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
۲- استادیار گروه گیاهان دارویی، مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: (Email: ghorbani.bahareh@ymail.com
DOI: 10.22067/JHS.2021.67437.1001

می‌باشد. پوشش‌های خوراکی به علت هزینه کم و حلال بودن در آب مورد توجه قرار می‌گیرند (Dahital *et al.*, 2018). این پوشش‌های خوراکی باعث کاهش میزان پوسیدگی میوه‌ها، بهبود ویژگی‌های ظاهری، جلوگیری از رشد میکروبی در سطح میوه‌ها می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2016). پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک مانع نیمه تراوا به بخار آب، اکسیژن و دی اکسیدکربن بین محصولات و اتمسفر اطراف آن ها، باعث افزایش ماندگاری محصول می‌شوند (Ghorbani *et al.*, 2018). ملاتونین یا N- استیل متوکسی تریپتامین، دارای وزن مولکولی پایین بوده و یک ساختار مبتنی بر ایندول دارد. این ترکیب علاوه بر جانوران در بسیاری از گیاهان مختلف شناسایی شده است و طیف وسیعی از نقش‌های فیزیولوژیکی، بیوسنتزی و مولکولی را به عهده دارد (Tan *et al.*, 2012). ترکیب ملاتونین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان در بسیاری از عملکردهای حیاتی سلول نقش دارد و نقش پیام‌رسان را ایفا می‌کند (Reiter *et al.*, 2013). همچنین ترکیب فوق می‌تواند از گیاهان در برابر آسیب‌های ناشی از تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی از جمله خشکسالی (Tan *et al.*, 2007)، شوری (Li *et al.*, 2012)، تنش گرمایی (Baghurst and Coghill, 2006) و سرمازدگی (Lei *et al.*, 2004) محافظت نماید. ملاتونین از طریق القای اکسین و تولید اندام هوایی میزان سیتوکینین را نیز تنظیم می‌کند، به همین دلیل از ملاتونین به عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی نام می‌برند (Arnao, 2014). علاوه بر این تحقیقات نشان داد ملاتونین سبب القای بیان ژن‌های مرتبط با سرما می‌گردد (Shi and Chan, 2014) و می‌تواند موجب محافظت از پروتئین از طریق القای پروتئین‌های شوک حرارتی گردد و از دناتوره شدن (از دست دادن ماهیت) پروتئین‌ها در گوجه‌فرنگی ممانعت کند (Xu *et al.*, 2016). همچنین ممکن است ملاتونین کارایی فتوسنتز را در گیاهان افزایش دهد به این صورت که به کارایی بهتر فتوسیتم II کمک می‌کند و نیز هدایت روزنه‌ای را افزایش می‌دهد (Pitar *et al.*, 2014). استفاده از ملاتونین در درختان گیلاس رنگدانه های فتوسنتزی، کربوهیدرات و محتوای پرولین ریشه‌ها را بالا برده و گیاه را در برابر استرس‌ها مقاومت می‌کند (Sarropoulou *et al.*, 2012). مطالعات نشان دادند ملاتونین با مهار مسیر مرگ برنامه‌ی ریزی شده میتوکندریایی ناشی از اشعه فرابنفش، اثر محافظتی در برابر آسیب‌های ناشی از این اشعه دارد (Fischer *et al.*, 2008). ترکیب ملاتونین در گیاهان به عنوان یک محرک زیستی در افزایش تحمل در برابر تنش‌های زنده، غیرزنده، بهبود رشد، تحریک بیوسنتز فیتوهورمون‌ها، تسهیل جذب عناصرغذایی، رشد ریشه و افزایش کیفیت و کمیت محصول نقش دارد (Li *et al.*, 2012). در پژوهشی نشان داده شد که کاربرد ملاتونین روی میوه انگور موجب ممانعت از کاهش وزن انگور طی انبارمانی می‌گردد (Meng *et al.*, 2015). همچنین کاربرد ملاتونین سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه انگور (Boccalandro *et al.*, 2011) و گیلاس (Zhao *et al.*, 2013) می‌گردید. ملاتونین محرکی بر افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در انگور (Vitalini *et al.*, 2011) و میوه هلو (Gao *et al.*, 2016) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش میوه‌های گیلاس رقم' سیاه مشهد' در حالت بلوغ تجاری و زمانی که روی درخت در بالاترین سطح کیفی قرار داشت و قابل برداشت بود (نیمه دوم اردیبهشت اوایل خرداد)، از یک باغ در شمال غربی شهر ارومیه برداشت و به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه (واحد میاندوآب) منتقل شدند. سپس میوه‌ها از لحاظ شکل، رنگ، اندازه، عاری بودن از آفات و بیماری‌ها و صدمات ظاهری بررسی شدند. میوه‌هایی با قطر ۲۲-۲۶ میلی‌متر، سالم و عاری از آفات و بیماری انتخاب شدند و سپس ۱۵ دقیقه با ملاتونین در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار با روش غوطه وری تیمار و در ظروف پلاستیکی (۴×۱۰×۱۴سانتی‌متر) بسته‌بندی شدند. در هر ظرف تعداد ۱۵ عدد میوه قرار داده شد. میوه‌های گیلاس پس از بسته‌بندی به داخل سردخانه با دمای ۱±۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد منتقل گردیدند و شاخص‌های پس از برداشت مورد مطالعه با فاصله زمانی هر ۷ روز یک بار به مدت ۵ هفته مورد بررسی قرار گرفتند.

شاخص‌های اندازه‌گیری شده

کاهش وزن میوه: برای تعیین میزان کاهش وزن، ۱۵ عدد میوه ثابت برای هر تیمار در شروع آزمایش و نیز طی دوره انبارمانی انتخاب و وزن شدند و با توجه به وزن اولیه، درصد کاهش وزن از معادله زیر محاسبه گردید (Zokaee-Khosroshahi *et al.*, 2007).

۱۰۰× (وزن اولیه میوه / وزن ثانویه میوه – وزن اولیه میوه) = درصد کاهش وزن

عصاره آب میوه: pH آب میوه با دستگاه pH متر دیجیتالی مدل (pH-Meter CG 824) کالیبره شده با محلول‌های بافری چهار و هفت اندازه‌گیری شد. ابتدا ۱۰ تا ۳۰ میلی‌لیتر عصاره میوه را در بشر ریخته و پس از قرار دادن الکترودهای pH متر در محلول، pH مورد نظر قرائت شد (Jalilimarandi, 2004).

اسیدیته قابل تیتراسیون: برای این منظور از روش تیتراسیون استفاده شد (۲). براساس مقدار هیدروکسید سدیم مصرفی در جریان تیتراسیون مقدار اسید موجود در عصاره میوه به صورت گرم اسید در ۱۰۰ میلی لیتر عصاره میوه (گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) محاسبه شد.

مواد جامد محلول: برای این آزمایش چند قطره از عصاره میوه گیلاس در دمای اتاق روی رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO) قرار گرفت و عدد مربوطه از روی ستون مدرج قرائت شد و داده‌ها برحسب بریکس یاداشت گردید (Jalilimarandi, 2004).

میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان کل عصاره میوه (DPPH): در ارزیابی آنتی‌اکسیدان کل ابتدا ۵۰ میکرولیتر عصاره آماده شده را با ۹۵۰ میکرولیتر DPPH مخلوط کرده و بعد از ۳۰ دقیقه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت و در فرمول زیر جاگذاری شد:

$$\% \text{ DPPH sc}= \frac{(\text{Abs control})_{t=30\,min}-(\text{Abs sample})_{t=30\,min}}{(\text{Abs control})_{t=30\,min}}\times ۱۰۰$$

که Abs sample میزان جذب DPPH در حضور نمونه عصاره و Abs control جذب DPPH بدون عصاره می‌باشد (Navarro *et al.*, 2006).

محتوای فنل کل: برای ارزیابی فنل طبق روش اسلینکارد و سینگلتن (Slinkard and Singleton, 1977) عمل شد و جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

محتوای آنتوسیانین کل: آنتوسیانین با استفاده از روش اختلاف pH بعد از ۳۰ دقیقه نگهداری در تاریکی در طول موج ۵۲۰ با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (Wrolstad *et al.*, 2005).

میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز: پس از آماده سازی عصاره پروتیئنی، برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز از معرف های زیر استفاده گردید: به ۲ میلی‌لیتر بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار، ۳۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار، ۲۰۰ میکرولیتر گایاکول ۱۰ میلی‌مولار که همگی آن‌ها را در حمام یخ با هم مخلوط نموده و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه نموده و منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Kochba *et al.*, 1977).

میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: فعالیت این آنزیم براساس اکسیداسیون اسید آسوربیک و کاهش جذب در ۲۹۰ نانومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Nakano and Asada, 1981).

تجزیه داده‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل (غلظت ملاتونین×زمان) با ۵ سطح از ملاتونین (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) به مدت ۵ هفته در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تجزیه آماری داده ها توسط نرم افزار SAS (Ver. 9.4) انجام گرفت و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مقایسه شدند. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر برخی صفات بیوشیمیایی میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی دوره انبارمانی

Table 1- ANOVA result for the effect of postharvest application of melatonin on some biochemical traits of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage

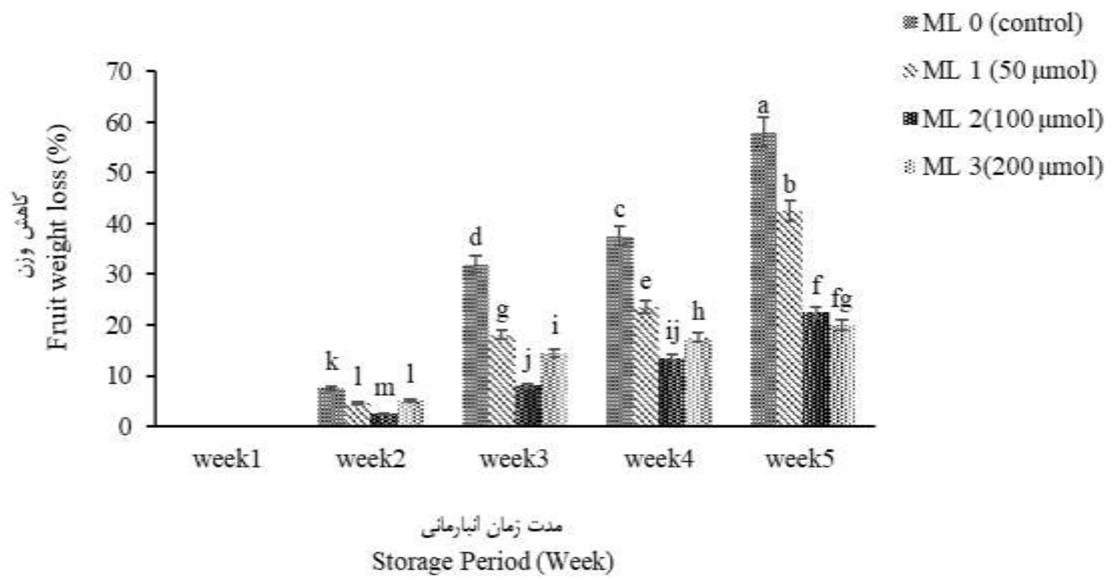
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		وزن میوه Fruit weight	اسیدیته قابل تیتراسیون TA	اسیدیته pH	مواد جامد محلول TSS	آنتی اکسیدان کل Total antioxidants (DPPH)
Melatonin (M)	3	77.7*	63.5*	0.24*	14.4*	184.7*
Time (T)	4	253.7*	182.1*	0.36*	26.11*	167.2*
M×T	12	154.4**	8.79*	0.12*	1.5**	17.48**
خطای آزمایش Error	-	0.5	0.27	0.019	0.02	5.7
ضریب تغییرات C.V (%)	-	14.5	6.9	9.5	15.2	16.9

ns، ** و* به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns: Non-Significant, ** and * : significant at 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively

نتایج و بحث

میزان کاهش وزن میوه: میزان آب از دست دهی و کاهش وزن میوه طی انبارمانی روندی افزایشی دارد. طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس دادهها (جدول ۱)، نشان داده شد که اثر متقابل ملاتونین×زمان بر وزن میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و پس از گذشت ۵ هفته انبارمانی در غلظت ۱۰۰و۲۰۰ میکرومولار تیمار ملاتونین کمترین میزان (۱۸ درصد) و در نمونه شاهد بیشترین میزان (۵۸ درصد) کاهش وزن میوه‌ها نشان داده شد (شکل ۱). کاهش وزن میوه و آب از دست‌دهی طی انبارداری امری طبیعی است که طی آن آب از سطح میوه تبخیر می‌شود. دو عامل در آب از دست دهی و کاهش وزن محصول نقش دارند، یکی قطع شدن رابطه آبی میوه با گیاه مادری و دوم افزایش تعرق در سطح میوه، این رخداد یک فرآیند فیزیکی است و کاهش وزن محصول را به دنبال دارد (Zhang *et al*., 2009). میوه گیلاس، به دلیل مقاومت نفوذی کم پوست میوه و میزان بالای تنفس روند کاهش وزن بیشتری نسبت به سایر میوه‌ها دارد (Boriss *et al*., 2006). تیمار ملاتونین در تنظیم رشد، حفظ آب و کاهش از دست دهی وزن میوه و نیز رسیدن میوه کلیماکتریک (سیب) و غیر کلیماکتریک (انگور) تاثیرگذار بوده است (Perez-Llorca *et al*., 2019). همچنین در پژوهشی دیده شده است که محلول‌پاشی ملاتونین موجب حفظ کیفیت، ماندگاری و افزایش عملکرد و وزن میوه انار شده است (Garcia-Pastor *et al*., 2017). تحقیقات فوق با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

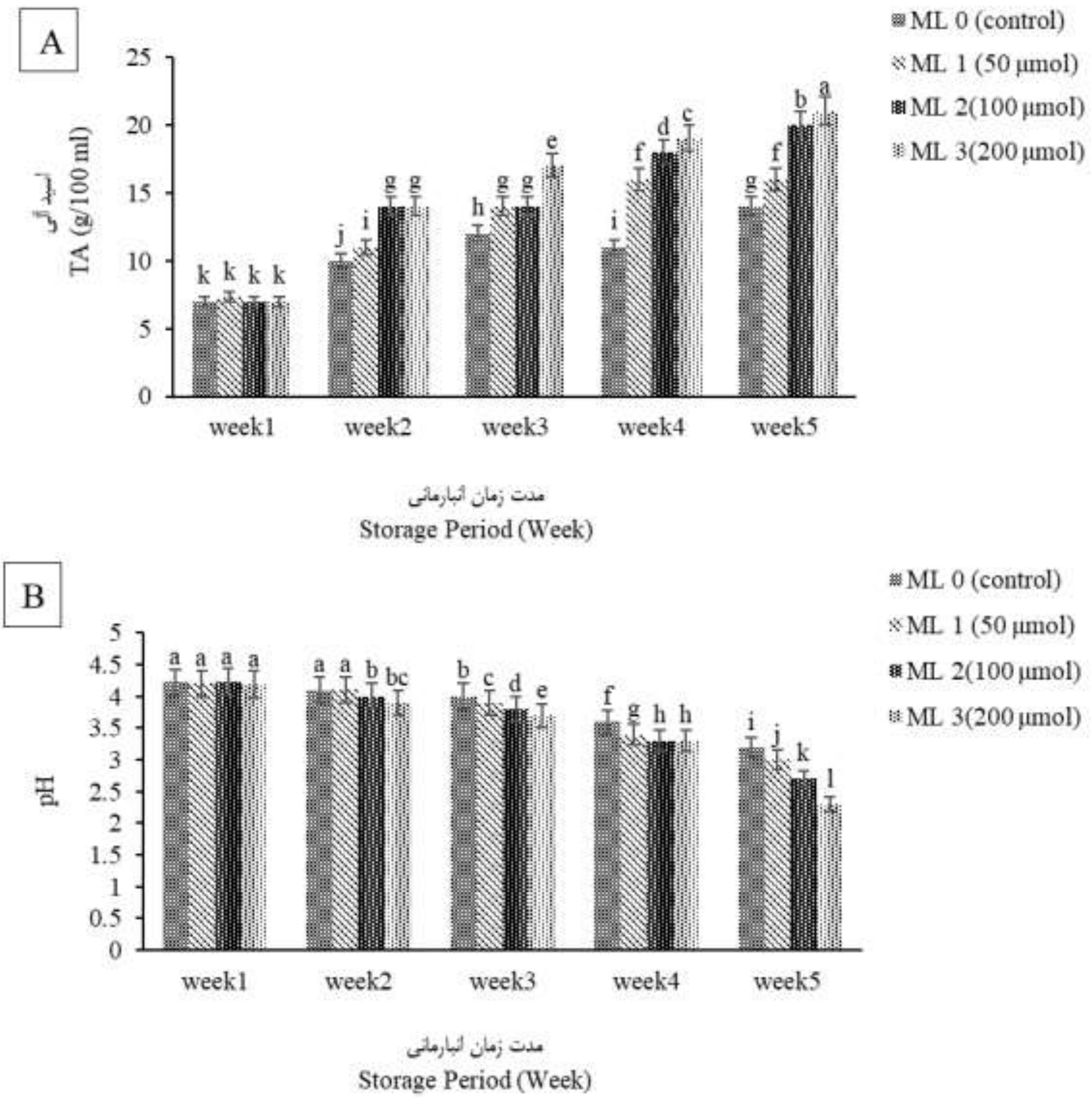


شکل ۱- تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر میزان کاهش وزن میوه گیلاس رقم ’سیاه مشهد‘ طی انبارمانی. ML 0: شاهد، ML 1: ۵۰ میکرومولار، ML 2: ۱۰۰ میکرومولار، و ML 3: ۲۰۰ میکرومولار.

Figure 1- The effect of post-harvest application of melatonin on fruit weight reduction of sweet cherry fruit cv. ‘Siah Mashhad’ during storage. ML 0: control, ML 1: 50 µM, ML 2: 100 µM, and ML 3: 200 µM of metatonin. (DMRT, $p \leq 0.05$)

میزان اسیدیته و اسیدیته قابل تیتراسیون: میزان اسیدهای آلی در میوه‌های گیلاس طی انبارمانی روندی کاهشی دارد. طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، نشان داده شد که اثر متقابل ملاتونین×زمان بر میزان اسیدهای آلی میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. در میوه‌های تیمار شده با ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین هفته اول به بیشترین مقدار اسید آلی (۲۲ گرم در ۱۰۰میلی‌لیتر) و کمترین آن در تیمار شاهد هفته پنجم انبارمانی به میزان (۱۳ گرم در ۱۰۰میلی‌لیتر) بوده است (شکل ۲-A). تغییرات اسیدیته نشان داد میزان اسیدیته (pH) در میوه‌های گیلاس طی انبارمانی روندی افزایشی دارد، طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر متقابل ملاتونین×زمان بر میزان اسیدیته میوه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. بیشترین اسیدیته متعلق به شاهد هفته پنجم (pH= ۴/۳) و کمترین آن مربوط به تیمار۲۰۰ میکرومولار ملاتونین هفته اول انبارمانی (pH= ۲/۹) بوده است (شکل ۲-B). اسیدیته شاخص مهمی برای بررسی رسیدن میوه گیلاس می‌باشد و در طول رسیدن میوه اسید مالیک و اسید سیتریک به ترتیب مصرف شده و در نتیجه مقدار اسید قابل تیتراسیون کاهش می‌یابد. در طول دوره نگهداری پیش ماده‌های اصلی تنفس یعنی قندها و اسیدهای

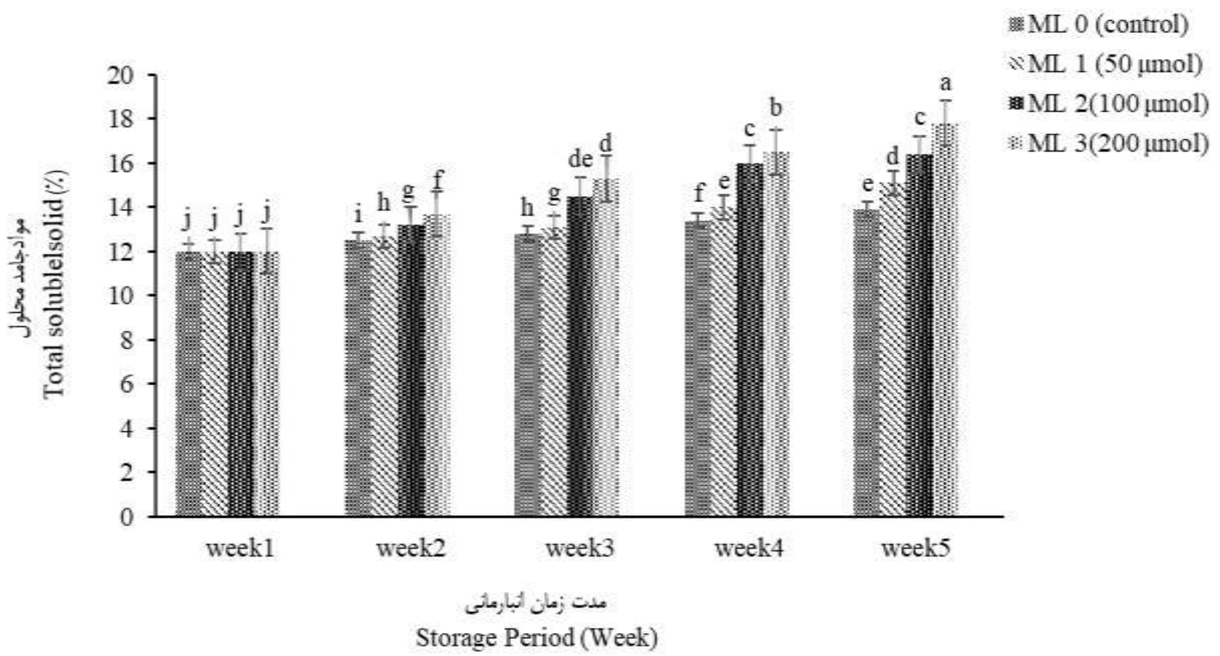
آلی کاهش پیدا می‌کنند این امر باعث افزایش در pH طـی انبارمـانی محصول می‌شود (Zhang, 2015). محققان بیان داشـتند غوطـه‌وری میوه توت فرنگی در تیمار کیتوسان سبب کنـد شـدن رونـد افزایشـی اسیدیته در طی انبارمانی میوه گشته و عمرانبارمـانی میـوه را افـزایش داده اسـت (Vargas *et al.*, 2006). تحقیقـات نشـان داد کـاربرد ملاتونین سبب بیان سطوح مختلف نیتریک اکسـید در هلـو (Shi *et al.*, 2015) و مرکبات می‌شود (Zhou *et al.*, 2016). این ترکیب به صورت واسطه‌ای عمل کرده و قادر است روند کـاهش اسـیدآلی را در میوه مهار نموده و عمرانبارمانی را افزایش دهد. همچنین در تحقیقـی دیگر بر روی میوه توت فرنگی دیده شد غوطه وری میوه با ملاتونین در غلظت ۰/۱ میلی‌مول در لیتر سبب کاهش فسـاد و افـزایش تـوان حفاظتی از سطح مواد جامد محلول و اسیدیته قابـل تیتراسـیون مـی‌-گردد (Liu *et al.*, 2018).



شکل ۲- تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر میزان اسیدآلی (A) و اسیدیته (B) میوه گیلاس رقم' سیاه مشهد' طی انبارمانی. ML 0: شاهد، ML 1: ۵۰ میکرومولار، ML 2: ۱۰۰ میکرومولار، و ML 3: ۲۰۰ میکرومولار.

Figure 2 - The effect of post-harvest application of melatonin on organic acid (A) and acidity (B) contents of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage. ML 0: control, ML 1: 50 µM, ML 2: 100 µM, and ML 3: 200 µM of melatonin. (DMRT, *p≤0.05*)

میزان مواد جامد محلول: میزان مواد جامد محلول میوه طی انبارمانی روندی افزایشی دارد. طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، نشان داده شد که اثر متقابل ملاتونین×زمان بر میزان مواد جامد محلول در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و میوه‌های تیمار شده با ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار بیشترین میزان مواد جامد محلول (۱۷ درصد بریکس) و نمونه شاهد کمترین میزان مواد جامد محلول (۱۳درصد بریکس) را طی انبارمانی داشتاند (شکل۳). از آنجایی که در میوه گیلاس نشاسته وجود ندارد، شیرینی در میوه گیلاس افزایش پیدا نمی‌کند مگر افزایش ناچیزی که در مواد جامد محلول‌کل به دلیل فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک یا آب از دست دهی طی انبارمانی اتفاق می‌افتد (LoScalzo *et al.*, 2007). تحقیقات نشان داده است که کاربرد محلول پاشی ملاتونین سبب بیوسنتز ژن‌های ملاتونین درونی شده و در نتیجه موجب حفظ کیفیت محصول در طی انبارمانی شده و افزایش میزان قند در میوه توت فرنگی شده است (Liu *et al.*, 2018) همچنین بیان شده کاربرد تیمار ملاتونین بصورت غوطه‌وری سبب کاهش قهوه‌ای شدن، افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و نیز مواد جامد محلول در میوه لیچی می‌گردد (Zhang *et al.*, 2018). علاوه بر این نتایج تحقیقات صورت گرفته روی انگور نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین اثرات مفیدی در رشد نهال، متابولیسم گلوکز و در انگور داشته است (Yang *et al.*, 2020).

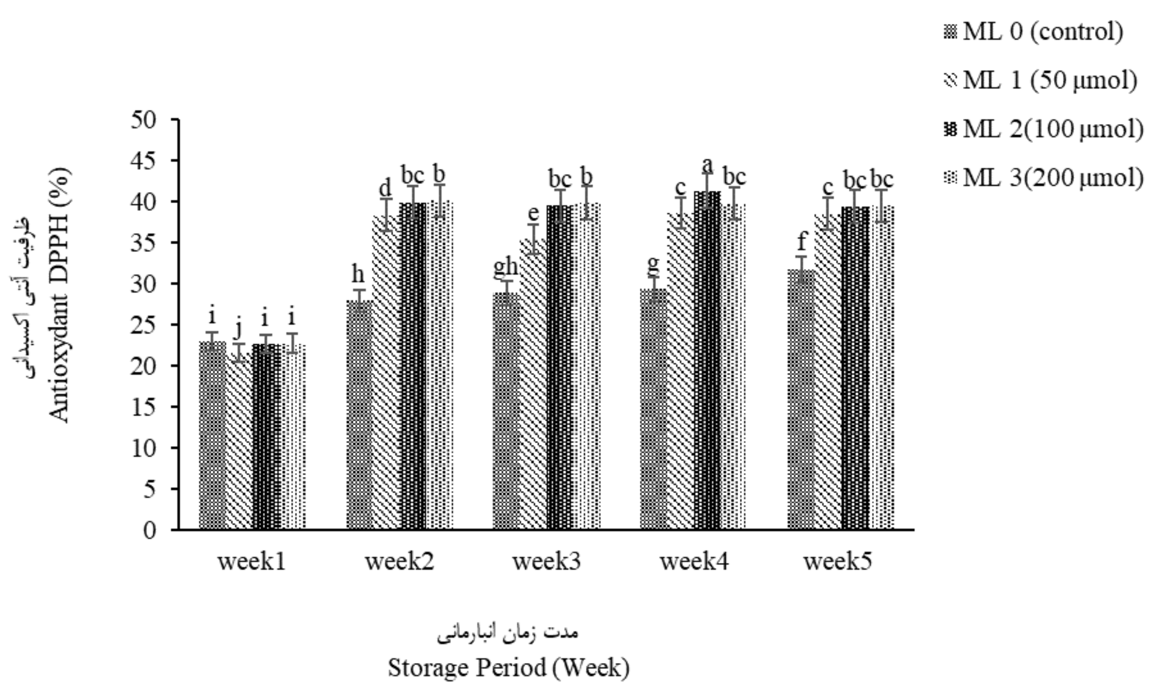


شکل ۳- تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر میزان موادجامد محلول میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی انبارمانی. ML 0: شاهد، ML 1: ۵۰ میکرومولار، ML 2: ۱۰۰ میکرومولار، و ML 3: ۲۰۰ میکرومولار.

Figure 3- The effect of post-harvest application of melatonin on the amount of soluble solids of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage. ML 0: control, ML 1: 50 µM, ML 2: 100 µM, and ML 3: 200 µM of melatonin. (DMRT, $p \leq 0.05$)

میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان‌کل میوه (DPPH): میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان‌کل میوه طی انبارمانی روندی افزایشی دارد. طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، نشان داده شد که اثر متقابل ملاتونین×زمان بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و میوه‌های تیمار شده با ملاتونین۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان را در هفته چهارم انبارمانی و با اختلاف اندکی در هفته پنجم انبارمانی به میزان (۴۳ درصد) و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان در نمونه شاهد هفته اول انبارمانی (۲۲ درصد) نشان داده است (شکل ۴). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو، سیستم آنتی‌اکسیدانی خود را فعال می‌کنند و با تولید آنزیم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی از تخریب سلول‌ها خود جلوگیری می‌نمایند (Gill and Tuteja, 2010). ملاتونین یک آنتی‌اکسیدان قوی با ظرفیت بالا است (Vitalini *et al.*, 2011) و مطالعات نشان داده است که کاربرد ملاتونین به صورت غوطه‌وری قادر به ارتقاء میزان محتوای سیستم آنتی‌اکسیدانی در محصولات باغی از قبیل مرکبات شده و به این ترتیب اثرات ناشی از

تنش را کاهش می‌دهد (Lin *et al*., 2019). همچنین محلـول‌پاشـی ملاتونین در بالا بردن فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش سـطح پـرولین به جهت مقابله با تنش در میوه انگور مشاهده شده اسـت (Wang *et al*., 2013).



شکل ۴- تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر میزان آنتی‌اکسیدان کل میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی انبارمانی. ML 0: شاهد، ML 1: ۵۰ میکرومولار، ML 2: ۱۰۰ میکرومولار، و ML 3: ۲۰۰ میکرومولار.

Figure 4- The effect of post-harvest application of melatonin on total antioxidant levels of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage. ML 0: control, ML 1: 50 µM, ML 2: 100 µM, and ML 3: 200 µM of melatonin. (DMRT, *p≤0.05*)

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر برخی صفات بیوشیمیایی میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی دوره انبارمانی

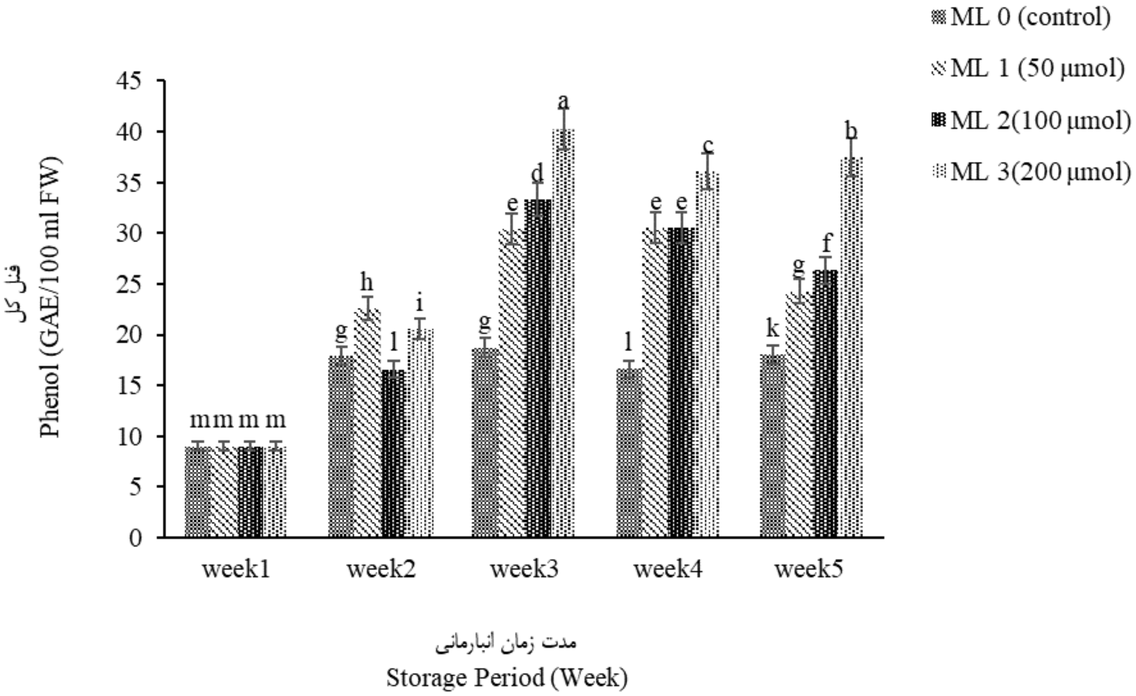
Table 2- ANOVA result for the effect of post-harvest application of melatonin on some biochemical traits of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		فنل کل Total phenolic	آنتوسیانین کل Total Anthocyanin	فعالیت پراکسیداز Peroxidase Activity	فعالیت آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase activity
Melatonin (M)	3	2.7*	120.5*	101.5*	137.8*
Time (T)	4	354.1**	259.2*	115.3*	230.7*
M×T	12	6.5**	19.7**	41.7**	61.41*
خطای آزمایش Error	-	0.02	0.73	5.5	7.47
ضریب تغییرات C.V (%)	-	15.2	8.9	15.2	16.3

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns: Non-Significant, ** and * and significant at 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively

میزان محتوای فنل‌کل: میزان ترکیبات فنلی میوه طی انبارمانی روندی افزایشی دارد. طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان داده شد که اثر متقابل ملاتونین×زمان بر میزان ترکیبات فنلی میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و پس از گذشت ۵ هفته انبارمانی میوه‌های تیمار شده با ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین بیشترین میزان ترکیبات فنلی را در طی هفته سوم تا پنجم انبارمانی به میزان (۴۰ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر اسیدگالیک) و کمترین میزان در نمونه شاهد هفته اول انبارمانی (۸ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر اسیدگالیک) بوده است (شکل ۵). میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ارتباط مستقیم با فنل‌کل دارد و این امر در انبارمانی محصولات نقش ویژه‌ای اعمال می‌کند (Zovko-Koncic *et al*., 2010). ترکیبات فنلی یکی از متابولیت‌های مهم گیاهی‌اند که از مسیر شیکمیک اسید سنتز می‌شوند و نقش مهمی را در خنثی سازی اثر رادیکال‌های آزاد برعهده دارند (Lattanzio *et al*., 2012). تحقیقات نشان داد که کاربرد ملاتونین به صورت غوطه‌وری در میوه انبه سبب سفتی، بهبود رنگ گوشت، افزایش میزان بتا کاروتن و ترکیبات فنلی می‌شود (Liu *et al*., 2020). در آزمایش دیگری که توسط یانگ و همکاران بر روی گیلاس انجام شد، نتایج نشان داد که استفاده از ملاتونین کیفیت میوه را از طریق افزایش میزان مواد جامد محلول و فنل‌کل و آسکوربیک اسید افزایش می‌دهد (Xia *et al*., 2020). پژوهش ما نشان داد در میوه گیلاس تیمار شده با ملاتونین ترکیبات فنلی افزایش معنی‌داری پیدا کرده‌اند و این به دلیل بالا رفتن سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در میوه گیلاس طی انبارمانی بوده است.

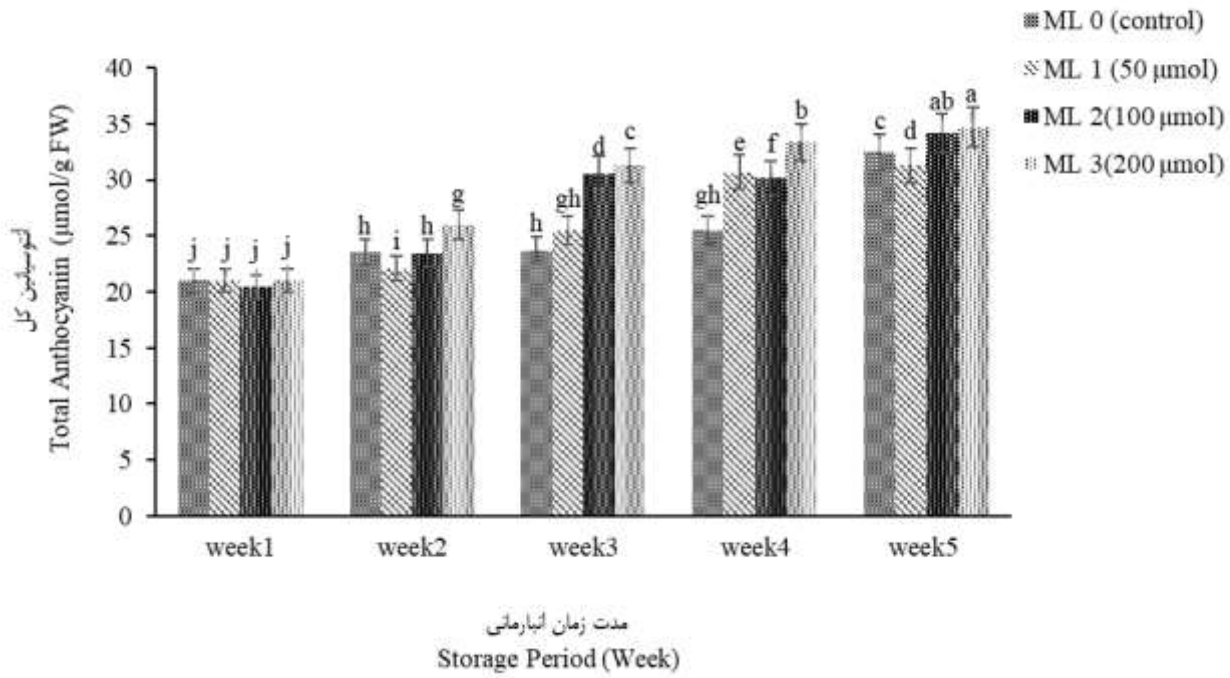


شکل ۵- تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر میزان محتوای فنل‌کل میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی انبارمانی. ML 0: شاهد، ML 1: ۵۰ میکرومولار، ML 2: ۱۰۰ میکرومولار، و ML 3: ۲۰۰ میکرومولار.

Figure 5- The effect of post-harvest application of melatonin on phenolic content of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage. ML 0: control, ML 1: 50 µM, ML 2: 100 µM, and ML 3: 200 µM of melatonin. (DMRT, *p≤0.05*)

میزان محتوای آنتوسیانین کل: میزان محتوای آنتوسیانین میوه طی انبارمانی روندی افزایشی دارد. طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان داده شد که اثر متقابل ملاتونین×زمان بر محتوای آنتوسیانین میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و محتوای آنتوسیانین پس از گذشت ۵ هفته انبارمانی در غلظت ۱۰۰و۲۰۰ میکرومولار تیمار ملاتونین بیشترین میزان آنتوسیانین (۳۴ میکرومول بر گرم وزن تر) و در نمونه شاهد کمترین میزان آنتوسیانین (۲۱ میکرومول بر گرم وزن تر) را نشان داد (شکل ۶). آنتوسیانین‌ها جزء ترکیبات محلول در آب بوده و در واکوئل‌ها تجمع می‌یابند (Reque *et al*., 2014). این ترکیبات جزء اصلی فنلی میوه هستند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها تا حدودی تحت تاثیر محتوای فنلی می‌باشد (Deighton *et al*., 2009). تحقیقات نشان

داد غوطه‌وری انگور در تیمار ملاتونین سبب تجمع ترکیبات فنلی و آنتوسیانینی در میوه می‌گردد (Meng *et al*., 2019). همچنین گزارش شده است که محلول‌پاشی ملاتونین قادر است محتوای آنتوسیانین‌کل میوه توت فرنگی و بیان ژن‌های مسیر بیوسنتز آنتوسیانین را افزایش دهد (Kalt *et al*., 1999). با توجه به تحقیقات فوق می‌توان گفت ملاتونین بر روی محتوای آنتوسیانین‌کل موثر بوده و علاوه بر حفظ سطح آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات در سلول محتوای آنتوسیانین‌کل را طی انبارمانی افزایش داده است.

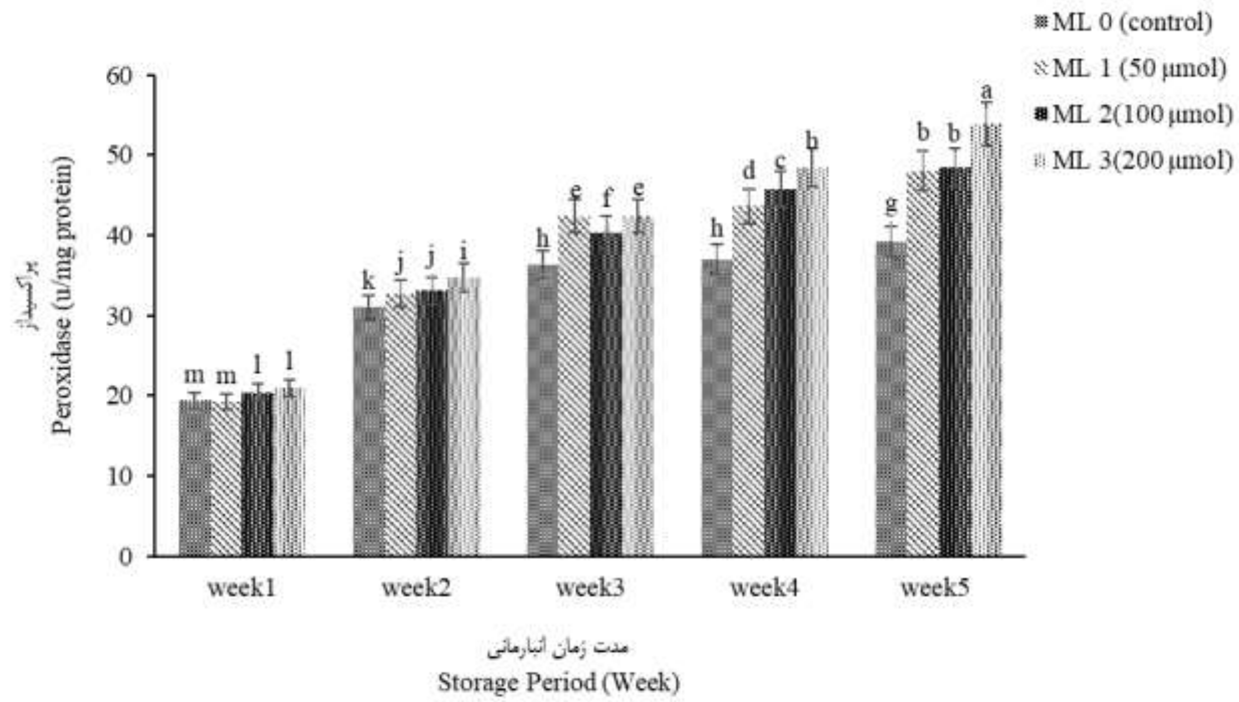


شکل ۶- تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر میزان محتوای آنتوسیانین‌کل میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی انبارمانی. ML 0: شاهد، ML 1: ۵۰ میکرومولار، ML 2: ۱۰۰ میکرومولار، و ML 3: ۲۰۰ میکرومولار.

Figure 6- The effect of post-harvest application of melatonin on the total anthocyanin- content of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage. ML 0: control, ML 1: 50 µM, ML 2: 100 µM, and ML 3: 200 µM. (DMRT, *p≤0.05*)

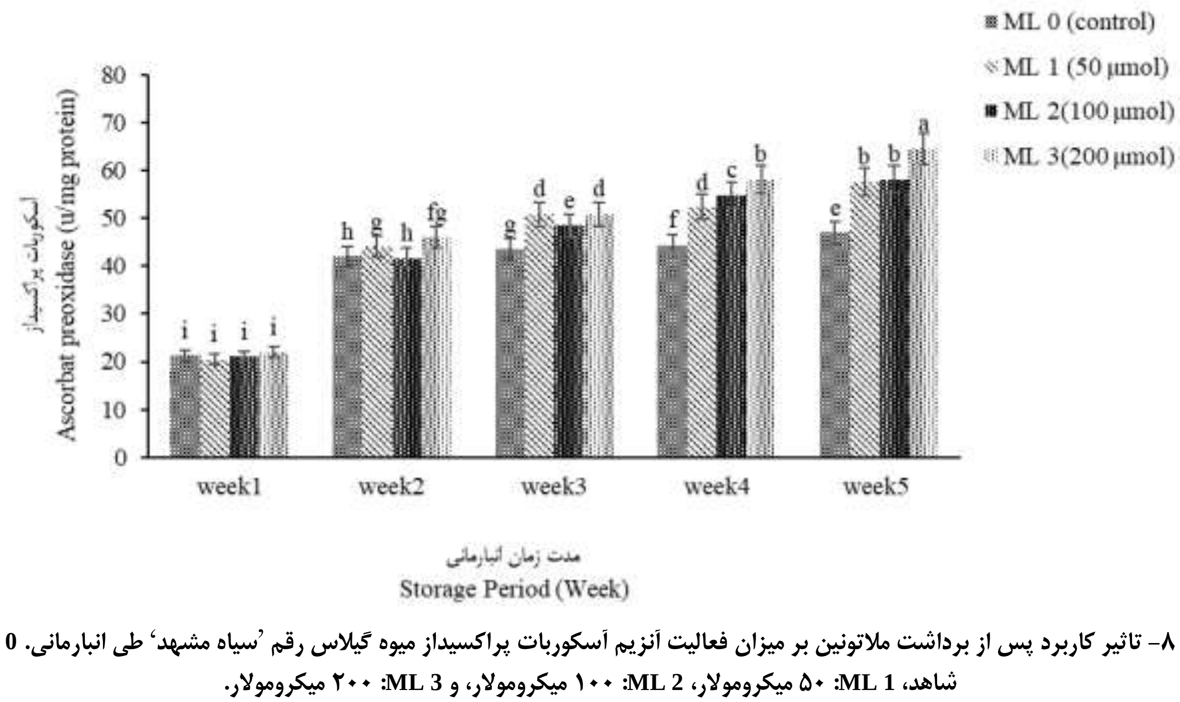
میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز: میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز میوه طی انبارمانی روندی افزایشی دارد. طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان داده شد که اثر متقابل ملاتونین×زمان بر فعالیت آنزیم پراکسیداز میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و در هفته پنجم، تیمار ملاتونین۲۰۰ میکرومولار بیشترین سطح فعالیت آنزیم پراکسیداز (۵۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و نمونه شاهد هفته اول کمترین سطح فعالیت آنزیم پراکسیداز (۲۰ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) را نشان داد (شکل ۷). در اثر قطع ارتباط بافت میوه با گیاه مادری و افزایش تنش در طول دوره انبارمانی، میزان مواد ذخیره‌ای و پیش ماده‌های آنتی‌اکسیدانی کاهش می‌یابد اما استفاده از پوشش خوراکی سبب کاهش این روند در محصول می‌گردد (Xing *et al*., 2011). پراکسیداز با داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی باعث فعال شدن پاسخ‌های دفاعی در برابر تنش‌ها شده و همراه با سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث حذف رادیکال‌های آزاد می‌شود (Mo *et al*., 2008). ملاتونین به عنوان اولین خط دفاعی برای محافظت گیاهان در برابر استرس‌های زنده و غیر زنده است که از طریق بیوسنتز آنتی‌اکسیدان‌ها، فعالیت آنزیم‌های مربوط به پیری را مهار می‌کند (Liang *et al*., 2018). کاربرد غوطه‌وری تیمار ملاتونین سبب تاخیر در پیری میوه هلو شد و با افزایش محتوای فنلی و آنتی‌اکسیدانی میزان پراکسیدهیدروژن را کاهش داد (Cao *et al*., 2016).

میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز میوه طی انبارمانی روندی افزایشی دارد. طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان داده شد که اثر متقابل ملاتونین×زمان بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و در هفته پنجم، تیمار ملاتونین۲۰۰ میکرومولار بیشترین سطح فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۶۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و نمونه شاهد هفته اول کمترین سطح فعالیت آنزیم پراکسیداز (۲۱ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) را نشان داد (شکل ۸).



شکل ۷- تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی انبارمانی.0 ML: شاهد، ML 1: ۵۰ میکرومولار، ML 2: ۱۰۰ میکرومولار، و ML 3: ۲۰۰ میکرومولار.

Figure 7- The effect of post-harvest application of melatonin on peroxidase activity of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage. ML 0: control, ML 1: 50 µM, ML 2: 100 µM, and ML 3: 200 µM of melatonin. (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۸- تاثیر کاربرد پس از برداشت ملاتونین بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' طی انبارمانی. 0 ML: شاهد، ML 1: ۵۰ میکرومولار، ML 2: ۱۰۰ میکرومولار، و ML 3: ۲۰۰ میکرومولار.

Figure 8- The effect of melatonin application after harvest on the activity of ascorbate peroxidase of sweet cherry fruit cv. 'Siah Mashhad' during storage. ML 0: control, ML 1: 50 µM, ML 2: 100 µM, and ML 3: 200 µM of melatonin. (DMRT, *p≤0.05*)

ملاتونین به عنوان یک مولکول ایندولی سالم و مفید نه تنها به‌عنوان یک محرک درون‌زاد بلکه دارای نقش مستقیم آنتی‌اکسیدانی است و به جاروب کردن رادیکال‌های آزاد کمک می‌کند (Bal, 2019). تحقیقات نشان داد غوطه‌وری گلابی با تیمار ملاتونین سبب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی در میوه شده و فعالیت رادیکال آزاد را مهار می‌کند (Zhai *et al*., 2018). علاوه بر آن دیده شده تیمار ملاتونین سبب تجمع فنل‌ها ، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها در میوه انگور نیز می‌شوند (Xu *et al*., 2017). نتایج تحقیقات فوق با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

میوه گیلاس به علت سرعت بالای تنفس و فعالیت متابولیکی ماندگاری پایینی دارد. استفاده از ترکیبات پوششی می‌تواند تا حدود زیادی عمر انبارمانی محصول را بالا ببرد. ملاتونین ترکیبی سازگار با میوه بوده و سبب افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و کند شدن روند کاهش وزن میوه گیلاس شده است. کاربرد غوطه وری این ترکیب به میزان ۲۰۰ میکرومولار بر روی میوه گیلاس رقم 'سیاه مشهد' موجب افزایش فعالیت‌های آنزیمی و حفظ کیفیت میوه طی پنج هفته انبارمانی گردیده است. لذا کاربرد این ترکیب می‌تواند به عنوان روشی مناسب و سودمند در انبارمانی میوه گیلاس توصیه گردد.

منابع

1- Arnao M.B. 2014. Phyto melatonin: Discovery, content, and role in plants. Advances in Botany. https://doi.org/10.1155/2014/815769.

2- Ayala–Zavala J., Wang F., Wang C., and Gonzalez–Aguilar G. 2007. High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. Food Technology and Biotechnology 425: 166-173.

3- Baghurst R., and Coghill R. 2006. A study of melatonin in plant tissues and its dietary and health implications. Bio electromagnetics current concepts. Springer. https://doi.org/10.1007/s11738-013-1372-0.

4- Bal E. 2019. Physicochemical changes in 'Santa Rosa'plum fruit treated with melatonin during cold storage. Journal of Food Measurement and Characterization 13(3): 1713-1720. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00088-6.

5- Bernalte M.J., Sabio E., Hernandez M., and Gervasini C. 2003. Influence of storage delay on quality of 'Van' sweet cherry. Postharvest Biology and Technology 28: 303-312.

6- Boccalandro H.E., Gonzalez C.V., and Wunderlin D.A. 2011. Melatonin levels, determined by LC-ESI-MS/MS, fluctuate during the day/night cycle in *Vitis vinifera* cv. Malbec: evidence of its antioxidant role in fruits. Journal of Pineal Research 51: 226-232.

7- Boriss H.J., Brunke H., Specialist A., and Kreith M. 2006. Commodity Profile: cherries, sweet and tart. Journal of Plant Sciences 85: 324-326.

8- Cao S., Song C., Shao J., Bian K., Chen W., and Yang Z. 2016. Exogenous melatonin treatment increases chilling tolerance and induces defense response in harvested peach fruit during cold storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry 64: 5215-5222.

9- Dahital R., Mora N., Watson D., Kohli P., and Choudhary R. 2018. Efficacy of limonene nano coatings on post-harvest shelf life of strawberries. LWT-Food Science and Technology 97: 124-132.

10- Deighton N., Stewart D., Davies H.V. Gardner P.T., Duthie G.G., Mullen W., and Crozier A. 2009. Soft fruit as sources of dietary antioxidants. Acta Horticulturae 585: 459-465.

11- Fischer T.W., Zmijewski M.A., Wortsman J., and Slominski A. 2008. Melatonin maintains mitochondrial membrane potential and attenuates activation of initiator (casp-9) and effector caspases (casp-3/casp-7) and PARP in UVR-exposed HaCaT keratinocytes. Journal Pineal Research 44: 397- 407.

12- Garcia-Pastor M., Guillen F., Zapata P., Agullo V., Castillo S., Serrano M., and Valero D. 2017. Melatonin: a new tool to increase yield and quality at harvest and to extend postharvest shelf-life of pomegranate. Paper presented at the IV International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits 1254. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1254.43.

13- Gill S.S., and Tuteja N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry.

14- Ghorbani B., Pakkish Z. and Najafzadeh R. 2018. Shelf life improvement of grape (*Vitis vinifera* L. cv. Rish Baba) using nitric oxide (NO) during chilling damage. International Journal of Food Properties 14: 2750-2763. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1373663

15- Gao H., Zhang Z.K., Chai H.K., Cheng N., Yang Y., Wang D.N., Yang T., Cao W. 2016. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. Postharvest Biology and Technology, 118: 103-110. https://doi.org/10.1590/fst.15221

16- Jalilimarandi R. 2004. Postharvest Physiology (Handling and storage of fruits, vegetables and ornamental plants).

Publishers Jihad Urmia University. Second edition, p. 276. [In Farsi].
17- Kalt W., Forney C.F., Martin A., and Prior R.L.1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47: 4638-4644.
18- Kochba J., Lavee S., and Spiegel-Roy P. 1977. Differevces in peroxidase activity and isoenzymes in embryogenic and non-embryogenic ‘shamouti’ orange ovular callus lines”. Plant and Cell Physiology, 18: 463-497.
19- Lattanzio V., Cardinali A., and Linsalata V. 2012. Plant phenolics: A biochemecal and physiological perspective, In: Cheynier, V., Sarni-Manchado, P., Quideau, S. (Eds.), Recent advances in polyphenol research, 1 ed. John Wiley and Sons, Ltd, Wiley-Blackwell, 1-39. https://doi.org/10.1002/9781118299753.ch1.
20- Lei X.Y., Zhu R.Y., Zhang G.Y., and Dai Y.R. 2004. Attenuation of cold-induced apoptosis by exogenous melatonin in carrot suspension cells: The possible involvement of polyamines. Journal of Pineal Research 36(2): 126-131.
21- Li C., Tan D.X., Liang D., Chang C., Jia D., and Ma F. 2014. Melatonin mediates the regulation of ABA metabolism, free-radical scavenging, and stomatal behavior in two Malus species under drought stress. Journal of Experimental Botany. eru476.
22- Li C., Wang P., Wei Z., Liang D., Liu C., Yin L., and Ma F. 2012. The mitigation effects of exogenous melatonin on salinity-induced stress in *Malus hupehensis*. Journal of Pineal Research 53(3): 298-306. doi: 10.1111/j.1600-079X.2012.00999.x. Epub 2012 Apr 17.
23- Liang B., Ma C., Zhang Z., Wei Z., Gao T., Zhao Q., and Li C. 2018. Long-term exogenous application ofmelatonin improves nutrient uptake fluxes in apple plants under moderate drought stress. Environmental and Experimental Botany 155: 650-661. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.08.016.
24- Lin Y.L., Fan L., Xia X.H., Wang Z.K., Yin Y.P., Cheng Y.L., and Li Z.G. 2019. Melatonin decreases resistance to postharvest green mold on citrus fruit by scavenging defenserelated reactive oxygen species. Postharvest Biology and Technology 153: 21-30.
25- Liu C.H., Zheng H.H., Sheng K.L., Liu W., and Zheng L. 2018. Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. Postharvest Biology and Technology 139: 47-55. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.016.
26- Liu S., Huang H., Huber D. J., Pan Y., Shi X., and Zhang Z. 2020. Delay of ripening and softening in ‘*Guifei’mango* fruit by postharvest application of melatonin. Postharvest Biology and Technology 163: 111136. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111136.
27- LoScalzo R., Bianchi G., Genna A., and Summa C. 2007. Antioxidant properties and lipidic profile as quality indexes of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var.botrytis) in relation to harvest time. Food Chemistry, 100(3): 1019-1025.
28- Martinez-Romero D., Alburquerque N., Valverde J.M., Guillen F., Castillo S., Valero D., and Serrano M. 2005. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatments: A new edible coating. Postharvest Biology and Technology 39: 93-100.
29- Meng J.F., Yu Y., Shi T.C., Fu Y.S., Zhao T., and Zhang Z.W. 2019. Melatonin treatment of pre-veraison grape berries modifies phenolic components and antioxidant activity of grapes and wine. Food Science and Technology 39 (1), 35-42. https://doi.org/10.1590/1678-457X.24517.
30- Meng J.F., Xu T.F., Song C.Z., Yu Y., Hu F., Zhang L., and Xi Z.M. 2015. Melatonin treatment of pre-veraison grape berries to increase size and synchronicity of berries and modify wine aroma components. Food Chemistry 185: 127-134.
31- Mo Y., Gong D., Liang L., Han R., Xie J., and Li W. 2008. Enhanced preservation effects of suger apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. Journal of Science and Food Agriculture 88: 2693-2699.
32- Mohammadi A., Hashemi M., and Hosseni S. 2016. Effect of chitosan molecular weight as micro and nanoparticles on antibacterial activity against some soft rot pathogenic bacteria. LWT - Food Science and Technology 71: 347-355.
33- Nakano Y., and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate- specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22: 867-880.
34- Navarro J.M., Flores P. Garrido C., and Martínez V. 2006. Changes in the contents of antioxidants compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. Food Chemistry 96: 66-73.
35- Perez-Llorca M., Munoz P., Muller M., and Munne-Bosch S. 2019. Biosynthesis, metabolism and function of auxin, salicylic acid and melatonin in climacteric and non-climacteric fruits. Frontiers in Plant Science 10: 57-68. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00136.
36- Petriccione M., Sanctis F., Pasquariello M.S., Mastrobuoni F., Rega P., Scortichini M., and Mencarelli F. 2014. The Effect of Chitosan Coating on the Quality and Nutraceutical Traits of Sweet Cherry during Postharvest Life. Food and Bioprocess Technology 8(2): 40-53.
37- Pitar R., Marco-contelles J., Ramos E. 2014. Melatonin as potential candidate to prevent the toxicity induced b chemical warfare agents. Archives of Toxicology, 88: 3-4

38- Reiter R.J., Tan D.X., Rosales-corral S.A. 2013.The universal nature, unequal distribution and antioxidant functions of melatonin and its derivatives. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry 13: 373-384.
39- Reque P.M., Steffens R.S., Jablonski A., Flores S.H. 2014. Cold storage of blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits and juice: Anthocyanin stability andante oxidant activity. Journal of Food Composition and Analysis 33(1): 111-116.
40- Sarropoulou V.N., Dimassi-theriou K.N., Therios I.N. 2012. Melatonin enhances root regeneration, photosynthetic pigments, biomass, total carbohydrates and proline content in the cherry rootstock PHL-C (*Prunus avium* x *Prunus cerasus*). Plant Physiology and Biochemistry 61: 162-168.
41- Shi H., and Chan Z. 2014. The cysteine2/histidine2-type transcription factor zinc finger of Arabidopsis thaliana 6-activated C-repeat-binding factor pathway is essential for melatonin-mediated freezing stress resistance in Arabidopsis. Journal of Pineal Research 57: 185-191.
42- Shi J.Y., Liu N., Gu R.X., Zhu L.Q., Zhang C., Wang Q.G., Lei Z.H., Liu Y.Y., and Ren J.Y. 2015. Signals induced by exogenous nitric oxide and their role in controlling brown rot disease caused by Monilinia fructicola in postharvest peach fruit. Journal of General Plant Pathology 81(1): 68-76. https://doi.org/10.3390/foods11050773.
43- Slinkard K. and Singleton V.L. 1977. Total phenol analysis Automatin and comparison with manual methods. American. Journal of Enology and Viticulture 28: 49-55.
44- Tan D.X., Hardeland R., Manchester L.C., Korkmaz A., Ma S., Rosales-Corral S., and Reiter R.J. 2012. Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. Journal of Experimental Botany 63(2): 577-597.
45- Tan D.X., Manchester L.C., Helton P., and Reiter R.J. 2007. Phyto remediative capacity of plants enriched with melatonin. Plant Signaling and Behavior 2(6): 514-516.
46- Vargas M., Albors A., Chiralt A., and Gonzalez-Martinez C. 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. Postharvest Biology and Technology 41: 164-71.
47- Vitalini S., Gardana C., Zanzotto A., Fico G., Faoro F., Simonetti P., and Iriti M. 2011. From vineyard to glass: Agrochemicals enhance the melatonin and total polyphenol contents and antiradical activity of red wines. Journal of Pineal Research 51(3): 278-285.
48- Wang P., Sun X., Li C., Wei Z., Liang D., and Ma F. 2013. Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. Journal of Pineal Research 54: 292-302.
49- Wrolstad R.E., Durst R.W., and Lee J. 2005. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. Trends in Food Science and Technology 16(9): 423-8.
50- Xia H., Shen Y., Shen T., Wang X., Zhang X., Hu P., and Wang J. 2020. Melatonin accumulation in sweet cherry and its influence on fruit quality and antioxidant properties. Molecules 25(3): 753.
51- Xing Y., Li X., Xu Q., Yun J., Lu Y., and Tang Y. 2011. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), Journal of Food Chemistry 124: 1443-1450.
52- Xu L., Yue Q., Bian F., Sun H., Zhai H., and Yao Y. 2017. Melatonin enhances phenolics accumulation partially via ethylene signaling and resulted in high antioxidant capacity in grape berries. Frontiers in Physiology 8: 14-26.
53- Xu W., Cai S.Y., Zhang Y., Wang Y., Ahammed G.J., Xia X.J., and Zhou J. 2016. Melatonin enhances thermos tolerance by promoting cellular protein protection in tomato plants. Journal of Pineal Research 61(4): 457-469.
54- Yang M., Wang L., Belwal T., Zhang X., Lu H., Chen C., and Li L. 2020. Exogenous melatonin and abscisic acid expedite the flavonoids biosynthesis in grape berry of *Vitis vinifera* cv. Kyoho. Molecules 25(1): 12.
55- Zhao Y., Tan D.X. Lei Q. 2013. Melatonin and its potential biological functions in the fruits of sweet cherry. Journal of Pineal Research 55:79-88.
56- Zhai R., Liu J., Liu F., Zhao Y., Liu L., Fang C., Wang H., Li X., Wang Z., Ma F., and Xu L. 2018. Melatonin limited ethylene production, softening and reduced physiology disorder in pear (*Pyrus communis* L.) fruit during senescence. Postharvest Biology and Technology 139: 38-46. https:/doi.org/10.3390/plants11050688.
57- Zhang J., Kluera N.Y., Wang Z., Ray W., Ho T.D., and Nguyen H.T. 2009. Genetic engineering for abiotic stress resistance in crop plants. In Vitro Cell Developmental Biology Plant 36: 108-114.
58- Zhang N.S. 2015.Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. Journal of Experimental Botany 66: 647 56.
59- Zhang Y.Y., Huber D.J., Hu M.J., Jiang G.X., Gao Z.Y., Xu X.B., Jiang Y.M., and Zhang Z.K. 2018.Melatonin delays postharvest browning in litchi fruit by enhancing anti oxidative processes and oxidation repair. Journal of Agricultural and Food Chemistry 10: 10-21.
60- Zhou Y.H., Li S.M., and Zeng K.F. 2016. Exogenous nitric oxide induced postharvest disease resistance in citrus fruit to Colletotrichum gloeosporioides. Ournal of the Science of Food and Agriculture 96(2): 505-512.
61- Zokaee-Khosroshahi M.R., and Esna-Ashari M. 2007. Postharvest putresciene treatments extend the storage- life of apricot (*Prunus armeniaca* L.) Etokhm-Sefid, fruit. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 82: 986-990.
62- Zovko-Koncic M., Kremer D., Schuhly W., Brantner A., Karlovic K., and Kalodera Z. 2010. Chemical differentiation of *Berberis.croatica* and *Berberis.vulgaris* using HPLC finger printing. Croatica Chemica Acta 83: 451-456.